

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 30 27 012 C2

⑮ Int. Cl. 5:  
B 01 J 13/00  
H 01 F 1/28

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

20.07.79 FR 7918842

⑯ Patentinhaber:

Agence Nationale de Valorisation de la Recherche  
(ANVAR), Neuilly-sur-Seine, Hauts-de-Seine, FR

⑯ Vertreter:

von Kreisler, A., Dipl.-Chem.; Selting, G., Dipl.-Ing.;  
Werner, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Fues, J.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 5000 Köln

⑯ Erfinder:

Massart, René, Cesson, FR

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS 26 42 383

DE-OS 26 23 508

DE-OS 25 29 053

US 40 94 804

IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol.19, Nr.7, 1976,  
S.2753-2759;

⑯ Ferrofluide und Verfahren zu ihrer Herstellung

DE 30 27 012 C2

DE 30 27 012 C2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft neue magnetische Fluide und ein Verfahren zu ihrer Herstellung, insbesondere neue Ferrofluide und ein Verfahren zu ihrer Herstellung.

5 Die Ferrofluide werden klassischerweise als stabile kolloidale Suspensionen von ferromagnetischen oder ferrimagnetischen Feststoffen definiert. Mit anderen Worten, sie sind in einem Magnetfeld stabile und dünnflüssige kolloidale Newtonsche Suspensionen von ferromagnetischen oder ferrimagnetischen, in einer Richtung orientierten Teilchen und dürfen somit nicht mit den in Magnetkupplungen verwendeten Flüssigkeiten verwechselt werden, die ausflocken und ihren flüssigen Charakter verlieren, sobald ein Magnetfeld an sie gelegt wird.

10 Es ist bereits ein anderer Typ von magnetischen Fluiden bekannt, die paramagnetische wässrige Lösungen sind. Dies sind Lösungen, die paramagnetische Ionen, d. h. Ionen enthalten, deren Elektronenstruktur Einzelelektronen einschließt, und deren Paramagnetismus sich leicht aus Quantenzahlen, die diese Ionen charakterisieren, errechnen läßt.

15 Ein Magnetfeld übt jedoch auf ein Ferrofluid eine Kraft aus, die um zwei Größenordnungen höher ist als die Kraft, die das gleiche Magnetfeld auf eine solche paramagnetische Lösung ausübt.

Ferner erwiesen sich die Ferrofluide als besonders vorteilhaft, denn sie ermöglichen die Erzielung hoher Abstoßungskräfte mit einem schwachen Magnetfeld und somit einen mäßigen Energieverbrauch bis zu einem solchen Punkt, daß für gewisse Anwendungen Dauermagnete genügen.

20 Die ersten Ferrofluide wurden in den Laboratorien der NASA um 1963 durch Mahlen von Ferrit während mehrerer Wochen in Gegenwart von Kerosin und Ölsäure hergestellt (US-PS 32 15 572). Die Mahldauer muß jedoch extrem lang sein, damit das feste Korn genügend klein ist (in der Praxis in der Größenordnung von  $100 \times 10^{-10}$  m), um die Stabilisierung der Suspension durch den Brownschen Effekt, d. h. durch thermische Molekularbewegung, zu ermöglichen. Dies entspricht Teilchen, von denen jedes aus einer einzigen magnetischen Domäne und nur etwa  $10^5$  Atomen besteht. Durch die Ölsäure, die an der Oberfläche der Teilchen im 25 organischen Medium insbesondere des Kerosins adsorbiert ist, werden Abstoßungskräfte in einem Maße von einigen Nanometern (Zehn Ångström) sichergestellt und in dieser Weise die magnetische Flockung verhindert. Ein solches Verfahren ist jedoch sehr kostspielig.

Ein entscheidender Schritt für die Senkung dieser Kosten wurde 1975 von S.E. Khalafalla getan (Magnetic Fluids, Chemical Technology, Bd. 5, September 1975, S. 540–546), der vorschlug, kolloidale Magnetitkörner 30 durch Keimbildung und Wachstum aus Eisen(II) und Eisen(III) (in der Praxis Eisen(II)-chlorid und Eisen(III)-chlorid) unter geeigneten Bedingungen der Bewegung und Übersättigung zu bilden, um die Abmessung der gebildeten Kristalle zu begrenzen (siehe auch IBM Technical Disclosure Bulletin, Bd. 19, Nr. 7, Dezember 1976, S. 2753–2759). Die Reaktion wird hierbei in Ammoniak, Kerosin und Ölsäure durchgeführt. Das Verfahren war übrigens bereits seinem Prinzip nach bei Physikern, die auf dem Gebiet des Magnetismus spezialisiert 35 waren, unter der Bezeichnung "Elmore-Verfahren" bekannt.

Außerdem stellte E. Papirer in Frankreich ein Präparat von Ferrofluiden auf der Grundlage von metallischem Kobalt in Suspension in Toluol her ("Préparation de suspensions de particules de cobalt finement divisées", C.R. Acad. Sc. Paris, Bd. 285 (18. 7. 1977) Série C, 77–76).

40 Alle diese Verfahren hatten jedoch die Nachteile gemeinsam, daß sie kostspielige und verunreinigende organische Lösungsmittel und/oder zumindest für die eigentliche Herstellung der kolloidalen Suspensionen die Zugabe wenigstens eines oberflächenaktiven Mittels erforderten, das ebenfalls ein umweltverunreinigendes Material sein kann und die Kosten der Produkte, die es enthalten, erhöht.

45 Es wurde nun überraschenderweise gefunden, daß Ferrofluide ohne Zusatz von oberflächenaktiven Mitteln und in Wasser hergestellt werden können. Ferner wurde gefunden, daß der Bereich der Ferrofluide, die in dieser Weise hergestellt werden können, sich nicht auf den Fall von Eisen (Fe(III)/Fe(II)) beschränkt und auch andere Metalle an Stelle von Eisen(II) umfassen kann.

50 Gegenstand der Erfindung sind Ferrofluide gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren zu ihrer Herstellung gemäß Anspruch 2. Eine besondere Ausführungsform des Verfahrens ist dem Anspruch 3 zu entnehmen. Die Erfindung ist auf Ferrofluide gerichtet, die im wesentlichen aus einer wässrigen Lösung von Polyoxoanionen von Fe(III) und wenigstens einem Metall hergestellt werden, das die Oxidationsstufe II aufweist und aus den Metallen der ersten Reihe der Übergangsmetalle, insbesondere aus Fe(II), Co(II), Mn(II), Cu(II) und Ni(II), mit einem assoziierten Kation ausgewählt sind. Besonders bevorzugt als Metalle M(II) mit der Oxidationsstufe II werden Fe(II), Co(II) und Cu(II).

55 Die Löslichkeit des Ferrofluids in Wasser hängt vom pH-Wert, vom vorhandenen Metall bzw. von den vorhandenen Metallen M(II), vom Verhältnis Fe(III)/M(II) und von der Art des mit dem Polyoxoanion assoziierten Kations ab.

Das assozierte Kation kann aus  $H^+$ ,  $N(CH_3)_4^+$  und  $N(C_2H_5)_4^+$  ausgewählt werden, da sie dem Polyoxoanion eine höhere Löslichkeit in Wasser verleihen als beispielsweise die  $Na^+$ ,  $K^+$  und  $NH_4^+$ -Kationen.

60 Wenn jedoch das assozierte Kation  $H^+$  ist (saures Medium), kann das Polyoxoanion mit dem assoziierten Kation als ein Polykation angesehen werden, und die Stabilität der Lösungen hängt ebenfalls von den in Lösung vorhandenen Anionen ab. Beispielsweise führen Anionen wie  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  und  $ClO_4^-$  zu guter Löslichkeit, während das Sulfation das Polykation praktisch quantitativ ausfällt.

65 Es liegt im Rahmen des Könnens des Fachmanns, durch Routineversuche den am besten geeigneten pH-Wert sowie das am besten geeignete assozierte Kation für jeden besonderen Fall zu bestimmen.

Die Ferrofluide gemäß der Erfindung können durch ihre folgenden physikalisch-chemischen Kennzahlen identifiziert werden:

Wie bereits erwähnt, stellen sie im wesentlichen eine wässrige Lösung von Polyoxoanionen von Fe(III) und wenigstens einem aus der ersten Reihe der Übergangsmetalle ausgewählten Metall M(II) mit einem assoziierten

Kation dar.

Die Polyoxyoanionen bilden Teilchen mit einem mittleren Durchmesser in der Größenordnung von etwa 10 nm (100 Å) und einem Molekulargewicht in der Größenordnung von  $10^6$  bis  $10^7$ .

Ihr Absorptionsspektrum im sichtbaren Licht zeigt eine Schulter zwischen etwa 450 und 500 nm und ein Absorptionsmaximum bei 1400 nm für Fe(III)/Fe(II) im nahen Infrarotbereich.

Sie können nach Bedarf vollkommen dehydratisiert und ohne Schwierigkeit wieder in Lösung gebracht werden. Beispielsweise führt die Dehydratisierung bei 100°C zu einem Lack, der 1 Mol Wasser pro Mol Gesamteisen (im Falle von Fe(III)/Fe(II)) somit einschließlich Fe(II) enthält. Dieser Lack kann unmittelbar wieder in wässrige Lösung gebracht werden.

Das Röntgenpulverdiagramm ist mit dem der Ferrite von zweiwertigen Metallen identisch. Insbesondere ist im Falle des Ferrofluids Fe(III)/Fe(II) auch dann, wenn das Eisen vollständig oxidiert ist, das Diagramm nicht das von  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , sondern bleibt das Diagramm von Magnetit. Die Messung der Größe der Radien bestätigt eine Abmessung von etwa 10 nm für die Polyoxyoanionen.

Die Erfahrung umfaßt die Herstellung dieser Ferrofluide im wässrigen Medium und ohne Zusatz eines oberflächenaktiven Mittels. Nach Auflösung von Salzen der in Frage kommenden Metalle in Wasser gibt man eine Base in geeigneter Menge zu und bildet hierdurch ein Gel, nimmt an diesem Gel gegebenenfalls nach seiner Abtrennung einen Kationenaustausch mit Hilfe einer wässrigen Lösung eines geeigneten Kations vor und trennt das hierbei erhaltene Gel ab und bringt wieder in wässrige Lösung, wobei man gegebenenfalls den pH-Wert mit einer Base einstellt.

In der Praxis stellt die Menge der Base, der das Produkt der Auflösung der Salze der in Frage kommenden Metalle in Wasser zugesetzt wird, einen Überschuß über die stöchiometrische Menge dar, die zur Bildung der Hydroxide der vorhandenen Metalle notwendig ist. Je nach dem verwendeten Metall mit der Oxidationsstufe II kann Erhitzen zweckmäßig sein, um die Auflösung in der Base zu beschleunigen.

Gemäß einer Variante dieses Verfahrens ist es möglich, auf die Abtrennung der Gele zu verzichten, wenn eine Base verwendet wird, deren Kation das vorstehend genannte assoziierte Kation darzustellen vermag.

Im allgemeinen sind die Quellen der Ausgangsmetalle Salze, die insbesondere aus den folgenden Salzen ausgewählt werden können:

Für Fe(III): Eisen(III)-alaun, Eisen(III)-chlorid und Eisen(III)-nitrat.

Für M(II): Mohrsches Salz, Eisen(II)-chlorid, Eisen(II)-sulfat und die wasserlöslichen Salze der Metalle mit der Oxidationsstufe II aus der ersten Reihe der Übergangsmetalle.

Obwohl bei der Herstellung das Verhältnis zwischen Fe(III) und dem zweiwertigen Metall M-(II) (gleichgültig, ob ein oder mehrere Metalle (M(II)) vorhanden sind) im Ferrofluid nicht entscheidend wichtig ist, wird ein Ferrofluid bevorzugt, das ein Ausgangsverhältnis Fe(III)/M-(II) von etwa 2 aufweist.

Es ist ferner zu bemerken, daß das Verhältnis Fe(III)/M(II) sich mit der Zeit durch die einfache Tatsache einer Oxidation an der Luft, insbesondere im Fall eines Ferrofluids des Typs Fe(III)/Fe(II), verändern kann. Dies beeinträchtigt jedoch nicht die Qualitäten des jeweiligen Endprodukts.

Als starke Base, die zuerst den Salzen zugesetzt wird, kommen alle geeigneten Basen, insbesondere NaOH oder auch Tetramethyl- oder Tetraäthylammoniumhydroxid in Frage.

Im besonderen Fall von Ferrofluiden des Typs Fe(III)/Fe(II) kann in dieser Stufe auch NH<sub>3</sub> in wässriger Lösung verwendet werden. Die Verbindung, die eingesetzt wird, um das assoziierte Kation zu liefern, kann aus den geeigneten Säuren, insbesondere HCl, HNO<sub>3</sub> oder CH<sub>3</sub>COOH, oder Tetramethyl- oder Tetraäthylammoniumhydroxid ausgewählt werden.

In jeder Stufe, in der es sich um die Gewinnung oder Isolierung eines Gels handelt, wird in üblicher Weise gearbeitet, d. h. durch Dekantieren über einem Magneten oder durch Zentrifugieren gegebenenfalls nach einer Wäsche mit Wasser.

Die Ferrofluide gemäß der Erfahrung weisen vom magnetischen Standpunkt ähnliche Eigenschaften wie die bisher bekannten Ferrofluide auf. Sie eignen sich somit für alle Zwecke, die sich für diese Verbindungen ergeben haben, wobei bekannt ist, daß sie bei Einwirkung eines Magnetfeldes ein anisotropes Medium darstellen, für das die Richtung des Feldes eine bevorzugte Richtung ist. Zu diesen Anwendungen gehören beispielsweise die Levitation, die Herbeiführung des Schwebezustandes (auto-sustentation) und die Herstellung von Magnetschaltern (contacteurs) oder Drehübergängen (passages tournants).

Die Erfahrung wird durch die folgenden Beispiele weiter erläutert.

#### Beispiel 1

Dieses Beispiel beschreibt die erfundungsgemäße Herstellung von Fe(III)/Fe(II)-Ferrofluiden ausgehend von einem Anfangsverhältnis Fe(III)/Fe(II) von 2.

a) In ein 2-l-Becherglas werden 400 ml 0,75-molare Natriumhydroxidlösung gegeben und auf 100°C erhitzt. Diese Lösung wird bei 100°C gehalten und mit einem Magnetrührer unter Erhitzen kräftig gerührt, während tropfenweise (in 5 Minuten) aus einem Dekantiergefäß eine Lösung eingeführt wird, die durch Mischen von 40 ml 1-molarem FeCl<sub>3</sub> + 10 ml FeCl<sub>2</sub>(2M) HCl(2M) gebildet worden ist.

b) Das Gemisch wird 10 Minuten bei etwa 100°C gehalten und dann der Abkühlung auf Raumtemperatur überlassen.

c) Das gebildete Gel wird über einem Dauermagneten dekantiert. Die überstehende Lösung wird mit einer Pipette, die an eine Wasserstrahlpumpe angeschlossen ist, entfernt.

# DE 30 27 012 C2

- d) Das in der Stufe (c) erhaltene Gel wird mit 200 ml 1-molarer Salpetersäure 10 Minuten mit dem Magnetrührer gerührt. Anschließend wird die Stufe (c) wiederholt.  
e) Die Stufe (d) wird zweimal wiederholt.  
f) Das Gel wird 5 Minuten mit 200 ml Wasser gerührt. Nach Zusatz von 200 ml 1-molarer Salpetersäure wird die Stufe (c) wiederholt.  
g) Die Arbeitsstufe (f) wird noch dreimal wiederholt.  
h) Das Gel wird 1 Stunde bei 2000 U/M zentrifugiert und der Überstand entfernt.  
i) 3 g dieses Gels wird in Wasser gelöst. Die Lösung wird auf ein Endvolumen von 10 ml aufgefüllt. Die quantitative Bestimmung von Gesamteisen und Eisen(II) mit Kaliumbichromat in Gegenwart von Diphenylaminsulfonat (gemäß Charlot, Les Méthodes de Chimie Analytique; Masson, 1966) ergab eine Konzentration an Gesamteisen von 1,36 M und ein Fe(III)/Fe(II)-Verhältnis von 15.

## Beispiel 2

Der in Beispiel 1 beschriebene Versuch wird wiederholt, wobei jedoch an Stelle der Stufe (i) 3 g des Gels aus der Stufe (h) in einer 0,5-molaren wäßrigen Lösung von Tetramethylammoniumhydroxid gelöst werden. Das Fe(III)/Fe(II)-Verhältnis wurde dann durch Analyse mit 11 bestimmt.

## Beispiel 3

Dieses Beispiel veranschaulicht die erfindungsgemäße Herstellung von Fe(III)/Fe(II)-Ferrofluiden ausgehend von einem Anfangsverhältnis Fe(III)/Fe(II) von 5.

Die Arbeitsschritte (a) bis (h) des in Beispiel 1 beschriebenen Verfahrens werden wiederholt, wobei jedoch 4 ml FeCl<sub>3</sub>(2M) HCl(2M) an Stelle von 10 ml in der Arbeitsstufe (a) verwendet werden.

Das in der Stufe (h) erhaltene Gel war wasserlöslich. Die Analyse einer Lösung mit einem Gesamteisengehalt von 0,68 M ergab ein Fe(III)/Fe(II)-Verhältnis von 20.

## Beispiel 4

40 ml 1-molares FeCl<sub>3</sub> und 10 ml FeCl<sub>3</sub>(2M) HCl(2M) werden mit 200 ml Wasser gemischt. Das Gemisch wird bei Umgebungstemperatur kräftig gerührt, wobei 120 ml 2-molares Ammoniak schnell zugesetzt werden. Anschließend wird noch 5 Minuten gerührt.

Anschließend wurden die Arbeitsschritte (c) und folgende (bis zur Stufe (i) einschließlich) des in Beispiel 1 beschriebenen Verfahrens durchgeführt. Hierbei wurde ein wäßriges Ferrofluid erhalten, dessen Ladung nach der Analysenmethode der Stufe (i) von Beispiel 1 ermittelt wurde. Hierbei wurde ein Fe(III)/Fe(II)-Verhältnis in Lösung von 10 ermittelt. Die protometrische Bestimmung dieser Lösung mit Tetramethylammoniumhydroxid ergab ein H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/Gesamteisen-Verhältnis von 0,07.

Das Molekulargewicht wurde durch Messung des scheinbaren Sedimentationskoeffizienten durch Ultrazentrifugierungsanalyse bei 8000 U/M bestimmt. Die Auswertung der Ergebnisse unter Verwendung des Modells eines kugelförmigen Teilchens ergab ein Molekulargewicht in der Größenordnung von  $8 \times 10^6$ .

Die Absorptionsspektren im sichtbaren Bereich wurden von 350 nm ab aufgenommen. Sie zeigten eine Schulter zwischen 450 und 500 nm. Ferner wurde im nahen Bereich des Infrarot ein Absorptionsmaximum bei 1400 nm festgestellt.

## Beispiel 5

40 ml 1-molares Tetramethylammoniumhydroxid wurden auf ein Gemisch von 10 ml 1-molarem FeCl<sub>3</sub> und 4 ml FeSO<sub>4</sub>(0,5M) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(0,1N) gegossen. Das Gemisch wurde bis zur Auflösung erhitzt, wobei direkt das gewünschte Ferrofluid erhalten wurde.

## Beispiel 6

Dieses Beispiel veranschaulicht die erfindungsgemäße Herstellung von Fe(III)/Co(II)Ferrofluiden ausgehend von einem Anfangsverhältnis Eisen/Kobalt von 2.

Der Versuch wurde auf die unter (a) bis (h) in Beispiel 1 beschriebene Weise durchgeführt, wobei jedoch 80 ml 0,5-molares FeCl<sub>3</sub> und 40 ml 0,5-molares Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> verwendet wurde. Die quantitative Bestimmung des Kobalts mit Cer(IV) in Gegenwart von Orthophenanthrolin (gemäß Charlot "Les Méthodes de Chimie Analytique"; Masson, 1966) in einer durch Auflösen des Gels in Wasser erhaltenen Lösung ergab ein Fe/Co-Verhältnis von 1,88. Die protometrische Bestimmung der gleichen Lösung mit Tetramethylammoniumhydroxid ergab ein H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>/Gesamteisen-Verhältnis von 0,33.

Ferner ergab die Auswertung einer Magnetisierungskurve, die mit diesem Eisen-Kobalt-Ferrofluid mit einer Konzentration von 0,6 M Fe(III) in wäßriger Lösung mit 0,3-molarem Tetramethylammoniumhydroxid aufgenommen wurde, die folgenden Kennzahlen:

Korndurchmesser	12,1 nm	
Standardabweichung der Korngrößenverteilung (als Gauss'sche Verteilung angenommen)	7,1 nm	
Sättigungsmagnetisierung des Fluids (1 Gauss = $1 \times 10^{-4}$ Tesla)	66 Gauss/cm <sup>3</sup>	5
Zahl der magnetischen Körner pro cm <sup>3</sup>	$1,33 \times 10^{16}$	

## Beispiel 7

Dieses Beispiel veranschaulicht die erfundungsgemäße Herstellung von Fe(III)/Co(II)-Ferrofluiden ausgehend von einem Eisen/Kobalt-Anfangsverhältnis von 5.

Der Versuch wurde auf die in Beispiel 1 beschriebene Weise durchgeführt (Stufen (a) bis (c)), jedoch unter Verwendung von 100 ml 0,5-molarem FeCl<sub>3</sub> und 20 ml 0,5-molarem Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Das bei Beendigung der Stufe (c) gebildete und isolierte Gel wurde anschließend 10 Minuten mit 200 ml 4-molarer Essigsäure gerührt. Dann wurden die Arbeitsstufen (c) und dann (h) durchgeführt. Das isolierte Gel wurde 10 Minuten mit 50 ml 1-molarer Salpetersäure gerührt.

Anschließend wurde erneut die Stufe (c) und dann die Stufe (h) durchgeführt. Die quantitative Bestimmung der durch Auflösen des isolierten Gels in Wasser erhaltenen Lösung ergab ein Eisen/Kobalt-Verhältnis von 4,63 bei einer Konzentration (Eisen) von 0,2 M.

## Beispiel 8

Dieses Beispiel veranschaulicht die erfundungsgemäße Herstellung von Fe(III)/Co(II)-Ferrofluiden ausgehend von einem Anfangsverhältnis Eisen/Kobalt von 1.

Der Versuch wurde auf die in Beispiel 1 beschriebene Weise (Stufen (a) bis (c)) durchgeführt, wobei jedoch 60 ml 0,5-molares FeCl<sub>3</sub> und 60 ml 0,5-molares Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> verwendet wurden. Das Gel wurde isoliert und 10 Minuten mit 200 ml 4-molarer Essigsäure gerührt. Anschließend wurden die Arbeitsstufen (c) und dann (h) durchgeführt.

## Die quantitative Bestimmung

- 1) der durch Auflösen des Gels in Wasser erhaltenen Lösung ergab ein Eisen/Kobalt-Verhältnis von 1,35 bei (Eisen) = 0,34 M und
- 2) der durch Auflösen des Gels in einer 1-molaren Tetramethylammoniumhydroxidlösung erhaltenen Lösung ergab ein Eisen/Kobalt-Verhältnis von 1,32 bei einer Konzentration (Eisen) von 0,6 M.

## Patentansprüche

1.-Ferrofluide, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einer wäßrigen, von oberflächenaktiven Mitteln freien Lösung hergestellt werden, die Polyoxyanionen von Eisen(III) und wenigstens ein Metall der Oxidationsstufe (II) enthält, das ausgewählt ist aus Eisen, Kobalt, Mangan, Kupfer und Nickel, mit einem assoziierten Kation, das ausgewählt ist aus H<sup>+</sup>, N(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>+</sup> und N(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub><sup>+</sup>, wobei die Polyoxyanionen in Teilchen mit einem Durchmesser von etwa 10 nm und einem Molekulargewicht von etwa 10<sup>6</sup> bis 10<sup>7</sup> vorliegen.

2. Verfahren zur Herstellung von Ferrofluiden gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man

- a) eine Base, ausgewählt aus Natriumhydroxid, wäßriger Ammoniaklösung und Tetramethyl- oder Tetraethylammoniumhydroxid, auf eine Lösung enthaltend Eisen(III)salz und wenigstens ein Salz eines Metalls in der Oxidationsstufe II ausgewählt aus der Gruppe Eisen, Kobalt, Mangan, Kupfer und Nickel in Wasser in einer Menge zugibt, die zur Gelbildung geeignet ist,
- b) gegebenenfalls nach Abtrennung des Gels mit Hilfe einer geeigneten wäßrigen Lösung, die zur Bereitstellung eines Kations geeignet ist und ausgewählt ist aus Salzsäure, Schwefelsäure, Essigsäure oder Tetramethyl- oder Tetraethylhydroxid, einen Kationenaustausch vornimmt,
- c) das hierbei erhaltene Gel abtrennt und in wäßrige Lösung bringt, wobei man
- d) gegebenenfalls den pH-Wert durch eine Base einstellt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß man die folgenden Quellen der Ausgangsmetalle verwendet:

für Fe(III): Eisen(III)-alaun, Eisen(III)-chlorid oder Eisen(III)-nitrat;  
für M(II): Mohrsches Salz, Eisen(II)-chlorid, Eisen(II)-sulfat oder ein wasserlösliches Salz wenigstens eines Metalls der Oxidationsstufe II aus der Gruppe Eisen, Kobalt, Mangan, Kupfer und Nickel.

**—Leerseite—**